

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-258034

(43)Date of publication of application : 11.09.2002

(51)Int.Cl.

G02B 5/26

G02B 5/18

G02B 5/28

G02B 6/122

(21)Application number : 2001-060810

(71)Applicant : JAPAN SCIENCE &amp; TECHNOLOGY CORP

(22)Date of filing : 05.03.2001

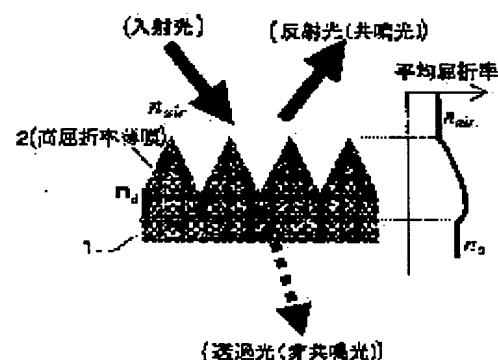
(72)Inventor : KIKUTA HISAO  
IWATA KOICHI  
MIZUTANI AKIO  
TOYODA HIROSHI

## (54) WAVELENGTH FILTER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a narrow range reflection type wavelength filter in which formation of a thin film is required to be performed only once and high reflectance can be obtained.

SOLUTION: The fine recess and projection pattern of a substrate coated with a dielectric layer is controlled in such a manner that when the ambient atmosphere, the dielectric layer and the substrate are regarded as a medium, the average refractive index depending on the height gently changes from the ambient atmosphere side to the substrate side and that the refractive indices  $n_d$ ,  $n_s$ ,  $n_{air}$  in the dielectric layer, the substrate and the ambient atmosphere, respectively, satisfy the relation of  $n_d > n_s$ ,  $n_{air}$ . The fine recesses and projections and the dielectric layer form a waveguide layer for the light incident to the surface having the recesses and projections. The period  $\Lambda$  of the fine recesses and projections is specified to the range satisfying  $\Lambda < \lambda / (n_s + n_{air} \sin \theta)$  and  $\Lambda < \lambda / (n_{air} + n_{air} \sin \theta)$ , wherein  $n_s$  and  $n_{air}$  are the refractive indices of the substrate and the ambient atmosphere, respectively, and  $\lambda$  and  $\theta$  are the wavelength and the incident angle of the irradiating light, respectively. Or the period  $\Lambda$  of the fine recesses and projections is specified to satisfy the relation of  $\Lambda > \lambda / (n_{gmax} + n_{air} \sin \theta)$ , wherein  $n_{gmax}$  is the highest average refractive index in the waveguide layer.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 11.03.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3711446

[Date of registration] 26.08.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-258034  
(P2002-258034A)

(43)公開日 平成14年9月11日(2002.9.11)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)	
G 0 2 B	5/26	G 0 2 B	5/26	2 H 0 4 7
	5/18		5/18	2 H 0 4 8
	5/28		5/28	2 H 0 4 9
	6/122		6/12	A

審査請求 有 請求項の数1 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2001-60810(P2001-60810)

(22)出願日 平成13年3月5日(2001.3.5)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 菊田 久雄

兵庫県西宮市高須町2丁目1番19-2202号

(72)発明者 岩田 耕一

大阪府河内長野市大師町18番1号

(72)発明者 水谷 彰夫

滋賀県草津市平井2丁目4番9号

(74)代理人 100065215

弁理士 三枝 英二 (外8名)

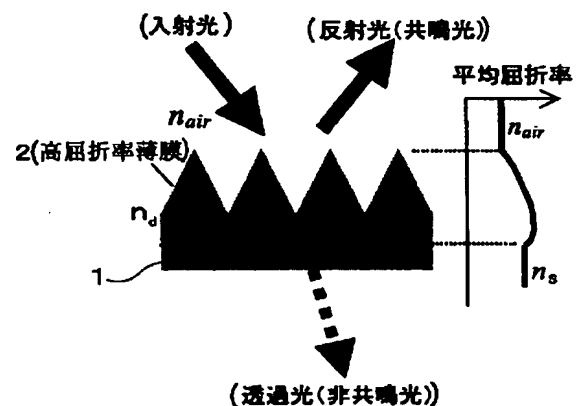
最終頁に続く

## (54)【発明の名称】 波長フィルタ

## (57)【要約】

【課題】 薄膜の成膜が一度で済み且つ高い反射率が得られる狭帯域反射型波長フィルタを提供する。

【解決手段】 誘電体層に覆われた基板の微細凹凸の形態は、周囲雰囲気と誘電体層と基板とを媒質としたときの各高さでの平均屈折率が周囲雰囲気側から基板側へと緩やかに変化しており、誘電体層、基板、周囲雰囲気の屈折率を $n_d$ 、 $n_s$ 、 $n_{air}$ としたときに、 $n_d > n_s$ 、 $n_{air}$ であり、微細凹凸及び誘電体層が該凹凸面に入射した光の導波層を形成しており、微細凹凸の周期は、該周期を $\Lambda$ 、基板及び周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_s$ 、 $n_{air}$ 、照射光の波長及び入射角を $\lambda$ 、 $\theta$ とすると、 $\Lambda < \lambda / (n_s + n_{air} \sin \theta)$ 、及び  $\Lambda < \lambda / (n_{air} + n_{air} \sin \theta)$ を満足する範囲とされ、微細凹凸の周期 $\Lambda$ は、導波層における最も高い平均屈折率を $n_{gmax}$ とすると、 $\Lambda > \lambda / (n_{gmax} + n_{air} \sin \theta)$ を満足する範囲とされる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 表面に微細凹凸を有する基板と、該微細凹凸面を覆う誘電体層とを備え、前記基板の微細凹凸は、基板表面での反射防止作用が得られるように、周囲雰囲気と誘電体層と基板とを媒質としたときの微細凹凸高さ方向における各高さでの平均屈折率が周囲雰囲気側から基板側へと緩やかに変化しており、誘電体層、基板、周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_d$ 、 $n_s$ 、 $n_{air}$ としたときに、

$$n_d > n_s, n_{air}$$

であり、前記微細凹凸及び誘電体層が該凹凸面に入射した光の導波層を形成しており、

前記基板の微細凹凸の周期は、該周期を $\Lambda$ 、基板及び周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_s$ 、 $n_{air}$ 、照射光の波長及び入射角を各々 $\lambda$ 、 $\theta$ とすると、

$$\Lambda < \lambda / (n_s + n_{air} \sin \theta)$$

$$\Lambda < \lambda / (n_{air} + n_{air} \sin \theta)$$

の双方を満足する範囲とされ、

前記微細凹凸の周期 $\Lambda$ は、前記導波層における最も高い平均屈折率を $n_{gmax}$ とすると

$$\Lambda > \lambda / (n_{gmax} + n_{air} \sin \theta)$$

を満足する範囲とされることを特徴とする波長フィルタ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長フィルタに関し、特に、選択波長の狭い特性を持つ波長フィルタに関する。

## 【0002】

【従来の技術】スラブ型（層型）の光導波路に周期的な屈折率変調を与えたり、導波路の上面または下面に周期的な微細凹凸形状を形成することにより、板状の波長フィルタを作成することができる。この波長フィルタは、周期構造内での共鳴現象を利用しており、数ナノメートル以下の極めて狭い波長域の光だけを反射する狭帯域バンドパス特性を持っている。1985年に、ブルガリアのMashevとPopovが波長633nmの可視光に対するフィルタを実際に試作し、その共鳴現象を確認している(L. Mashev and E. Popov, "Zeroorder anomaly of dielectric coated gratings", Optics Communications, Vol. 55, No. 6 (1985) pp. 377-380)。ただし、彼らの提案するフィルタ構造では、共鳴波長での反射率は高いものの、非共鳴波長での反射率も数%存在し、波長選択の効率が悪かった。非共鳴波長の反射率を低減させるために、米国のR. MagnussonとS. Wangは、格子層（屈折率または形状が周期的に変化する層）の上または下に屈折率の異なる薄膜層を設けることを提案している(米国特許第5598300号)(R. Magnusson and S. S. Wang, 著 "Transmission bandpass guided-mode resonance filters", Applied Optics, Vol. 34, No. 35 (1995年) 8106-8109頁)。一

方、上記の波長フィルタとは別に、光の波長より細かな表面構造で光の反射を無くす方法も考えられている。この原理は、微細構造により表面の平均的な屈折率を徐々に変化させることで反射を低減させるものであり、蛾の目の表面微細構造(Moth Eye構造)として古くから知られている。この反射防止構造の特長は広い波長範囲について反射率が小さいことである。可視光や近赤外線に対する反射防止構造の作成は、1987年頃より始まり(Y. Ono, Y. Kimura, Y. Ohta, and N. Nishida, 著 "Antireflection effect in ultrahigh spatial-frequency holographic relief gratings, Applied Optics, Vol. 26, No. 6 (1997年) 1142-1146頁)、現在までに理論解析と制作手法の両面から実用化に向けて研究開発が進められてきた。近年では、金属の細線やドットパターンをマスクに、高密度プラズマを用いてエッチングを行うことで、高アスペクト比の三角または円錐の微細構造を作成することも可能になってきた(特願2000-088524号、高原、豊田)。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】高効率な波長フィルタの性能は、中心波長での反射率が100%に近く、それ以外の波長では反射率が0%（すべて透過）になるのが望ましい。Magnussonらの方法で非共鳴波長の反射率を低減させるためには、格子層を含めて複数層の薄膜を成膜する必要がある。フィルタを量産する場合、屈折率の異なる薄膜を多重に成膜することは、生産コストを高くするという問題を生じる。

【0004】本発明の目的は、製造が簡便であり生産コストを低減させることができ、しかも高い波長選択性が得られる狭帯域反射型波長フィルタを提供することにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の上記目的は、表面に微細凹凸を有する基板と、該微細凹凸面を覆う誘電体層とを備え、前記基板の微細凹凸は、基板表面での反射防止作用が得られるように、周囲雰囲気と誘電体層と基板とを媒質としたときの微細凹凸高さ方向における各高さでの平均屈折率が周囲雰囲気側から基板側へと緩やかに変化しており、誘電体層、基板、周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_d$ 、 $n_s$ 、 $n_{air}$ としたときに、

$$n_d > n_s, n_{air}$$

であり、前記微細凹凸及び誘電体層が該凹凸面に入射した光の導波層を形成しており、前記基板の微細凹凸の周期は、該周期を $\Lambda$ 、基板及び周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_s$ 、 $n_{air}$ 、照射光の波長及び入射角を各々 $\lambda$ 、 $\theta$ とすると、

$$\Lambda < \lambda / (n_s + n_{air} \sin \theta)$$

$$\Lambda < \lambda / (n_{air} + n_{air} \sin \theta)$$

の双方を満足する範囲とされ、前記微細凹凸の周期 $\Lambda$ は、前記導波層における最も高い平均屈折率を $n_{gmax}$ と

すると

$$\Lambda > \lambda / (n_{\text{gmax}} + n_{\text{air}} \sin \theta)$$

を満足する範囲とされることを特徴とする波長フィルタにより達成される。

【0006】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態に係る狭帯域反射型波長フィルタについて図面を参照しながら説明する。

【0007】図1は、本発明の一実施形態に係る波長フィルタの断面を概略的に示している。この波長フィルタは、表面に微細凹凸を有する基板1と、該微細凹凸面を覆う誘電体層2とを備えている。基板1の微細凹凸は、この例では、図示のように断面三角波状に形成されている。この微細凹凸は、これに限らず、サインカーブ状等、基板表面での反射防止作用が得られるように、周囲雰囲気（通常は空気）Aと誘電体層2との平均屈折率が周囲雰囲気側から基板側へと緩やかに変化した形状とすることができる。このため、微細凹凸の断面形状は、凸部が先細となるように形成されているのが望ましい。

【0008】誘電体層及び基板の材質は、誘電体層、基板、周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_d$ 、 $n_s$ 、 $n_{\text{air}}$ としたときに、誘電体の屈折率 $n_d$ がこれらの中で最も大きくなるように、すなわち

$$n_d > n_s, n_{\text{air}}$$

となるように選択される。

【0009】この構成により、微細凹凸及び誘電体層が該凹凸面に入射した光の導波層が形成されている。

【0010】前記基板の微細凹凸の周期は、該周期を $\Lambda$ 、基板及び周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_s$ 、 $n_{\text{air}}$ 、照射光の波長及び入射角を各々 $\lambda$ 、 $\theta$ とすると、

$$\Lambda < \lambda / (n_s + n_{\text{air}} \sin \theta)$$

$$\Lambda < \lambda / (n_{\text{air}} + n_{\text{air}} \sin \theta)$$

の双方を満足する範囲とされる。微細凹凸の周期をこの範囲とすることにより、雰囲気側及び基板側への回折光の発生が抑止される。

【0011】さらに、微細凹凸の周期 $\Lambda$ は、導波層の平均屈折率を $n_g$ における最も高い平均屈折率を $n_{\text{gmax}}$ とすると

$$\Lambda > \lambda / (n_{\text{gmax}} + n_{\text{air}} \sin \theta)$$

を満足する範囲とされる。微細凹凸の周期をこの範囲とすることにより、入射光を導波層内に伝搬させることができる。

【0012】基板の材料としてはガラス、プラスチック、シリコン単結晶等を使用することができる。これらの中でも、低屈折率であるガラスやプラスチックが特に望ましい。

【0013】また、誘電体層を形成する材料としては、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MgF}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 等、通常の光学薄膜形成用材料を使用することができる。これらの中でも、高屈折率である $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MgF}_2$ が特に望ましい。また、照射光が赤外線の場合

は、Si、Ge、ZnSe等を使用することができる。

【0014】微細凹凸の周期 $\Lambda$ は、用いる材料の屈折率、照射光の波長等の条件に応じて適宜決定される。照射光がフィルタ面に垂直に入射する場合は、（基準波長 $\lambda$ ／基板屈折率 $n_s$ ）の0.9倍程度が望ましい。

【0015】この微細凹凸は、例えば、干渉露光や電子ビーム露光とエッチングとを組み合わせることにより基材に微小な凹凸を形成し、その表面に真空蒸着、スパッタ法等により高屈折率膜を形成するというようにして形成することができる。また、基材の微小な凹凸は成型型を用いて量産することができる。

【0016】本発明は、入射光の中の特定の波長の光を選択的に反射する機能を有する。これには、入射光に対する反射防止作用及び共振モード格子フィルタとしての作用が寄与している。以下、これらの作用及びその原理について説明する。

【0017】a. 反射防止作用について

図2は、3角形を基本単位とする反射防止構造の1例を示している。三角形の周期を $\Lambda$ 、周囲雰囲気（空気層）の屈折率を $n_{\text{air}}$ 、基板1aの屈折率を $n_s$ とする。真空中での波長が $\lambda$ の大きさをもつ光が角度 $q$ をもって入射する場合、回折波を発生しないための条件は、

$$\Lambda < \lambda / (n_s + n_{\text{air}} \sin \theta) \quad (1)$$

$$\Lambda < \lambda / (n_{\text{air}} + n_{\text{air}} \sin \theta) \quad (1')$$

の双方を満たすことである。高さ方向に対する平均屈折率を図2の右側にグラフで模式的に示している。この構造においては、上部の周囲雰囲気の屈折率から基板層の屈折率へと変化している。光の反射は屈折率の急激な変化で生じるので、図のように屈折率が徐々に変化する場合は、光はほとんど反射しない。また、基板の凹凸断面形状は必ずしも三角形である必要はない。平均屈折率が高さ方向に緩やかに変化する構造であれば、反射防止の効果が現れる。最適な平均屈折率の変化は、空気の屈折率から基板の屈折率に一定に変わるものである。反射率と透過率は回折格子の厳密解析計算法(Rigorous Coupled-wave Analysisなど)を用いて求めることができる。微細凹凸は、凹凸の高さが高いほど（アスペクト比が高いほど）長い波長も含めて反射防止の効果がある。望ましくは、微細凹凸の高さ（深さ）は、照射光の波長と同一かそれ以上とされる。

【0018】b. 共振モード格子フィルタについて

図3は共鳴現象を利用した格子フィルタの基本構成である。フィルタは、基板1b上に屈折率変調または矩形波状等の周期的な形状変化をもつ導波層2bを有している。入射光は、導波層の周期性により回折される。ただし、回折波は導波層と基板層および導波層と周囲雰囲気の境界で全反射が起こる角度に回折するよう設定する。このためには、導波層は基板層や周囲雰囲気より高い屈折率

$$n_g > n_{air}, n_s \quad (n_g \text{は導波層の平均屈折率})$$

(2)

を持たねばならず、また、導波層の変調周期 $\Lambda$ は、導波層における最も高い平均屈折率を $n_{gmax}$ として $\Lambda > \lambda / (n_{gmax} + n_{air} \sin \theta)$  (3)の条件を満足しなければならない。

【0019】入射波は導波層の格子構造のために、導波層内に回折波を発生する。この回折波が、導波層内を伝搬する条件を満たすとき、再び周期構造と結合を起こして、入射光に対して鏡面反射の方向に回折波（反射波）を発生する。一方、導波条件を満足しない回折波は導波層に進入することができず、入射光に対して透過波となる。前記導波条件を満足する場合は、反射効率がほぼ100%の高効率なフィルタになる。このフィルタはバンドパスの反射型フィルタであり、屈折率の変調量を調節することで、フィルタの半値幅をコントロールできる。したがって、屈折率の変調量を適当に設計することにより、数オングストロームの半値幅のフィルタを作ることができる。導波層の伝搬条件は電場の偏光方向によって異なる。したがって、同じ構造であっても、共鳴波長は入射光の偏光方向によって異なる。また、一般にTM波（電場が紙面に垂直な波動）の方がTE波（電場が紙面に垂直な波動）に比べて半値幅が狭い。

【0020】図3の構造において、導波層の上面、下面では屈折率差による反射光が生じるので、非共鳴波の反射率が0にならず、数%の反射光が残る。図4は、Magnussonらが提案している非共鳴波の反射率低減のための多層構造である。この例では変調導波層2cの上下に薄膜層3c、4cを1層ずつ付加して基板1c上に設けている。この多層構造では、入射光を上下の層で反射させ打ち消し合うように干渉させることにより、反射率を低減している。薄膜層の厚さはそのような干渉が生じるように、光学膜厚が波長の半分または1/4になるように設定される。また、上下いずれか一方の層を変調導波層の界面で代用することにより、他方の薄膜層を省略することも可能である。また、より反射率を低減させるためには、薄膜層の層数を増やす必要がある。非共鳴波の反射率低減の原理は、よく知られている誘電体多層膜による反射率低減と同じである。

【0021】c. 反射防止構造型の共振モード格子フィルタ

本発明は、上記原理に基づくものである。以下、図1に示す共振モード格子フィルタの断面図に基づいて本発明を説明する。このフィルタは、図2の反射防止構造に、真空蒸着などの方法で基板より屈折率の高い誘電体薄膜を付着したものである。薄膜の表面形状は、基板の凹凸形状を保存しているものが望ましい。高さ方向に対する平均屈折率の分布を図の右側にグラフで示す。平均屈折率は周囲雰囲気値から徐々に大きくなり、その後小さくなって基板の屈折率と一致する。したがって、屈折率分布型の光導波路と同じ機能を果たし、回折波がこの領域

に閉じこめられる。そして、3角形の格子周期で横方向について屈折率が変調されていることになる。この回折波が、式(2)及び式(3)で示した導波層内を伝搬する条件を満たすとき、再び周期構造と結合を起こして、入射光に対して鏡面反射の方向に回折波（反射波）を発生する。

【0022】このフィルタの反射特性は、凹凸形状のアスペクト比（凹凸の高さと周期の比）、誘電体薄膜の膜厚と屈折率、基板材料の屈折率に強く影響される。一般に、半値幅（ピーク領域の波長幅）を狭くするには、アスペクト比を高くする（山を高くする）、薄膜の屈折率を低めに設定する、薄膜の厚さを薄くする、ということを実現できる。非共鳴波長での反射率を低くするには、アスペクト比を高くする必要がある。

【0023】以下に数値計算の結果を使って具体例を紹介する。形状から光の反射特性を求めるのに、RCWA (Rigorous Coupled Wave Analysis) とよばれる計算アルゴリズムを用いた。この計算アルゴリズムは、回折格子についての電磁気的な厳密計算手法であり、共鳴領域の回折効率を正確に求めるための方法として、世界各地で用いられているものである。

【0024】図5(a)は、アスペクト比2.5の構造をもつ石英基板に屈折率2.25 (TiO<sub>2</sub>) の誘電体薄膜を基準波長の0.4倍の厚さで形成した波長フィルタの縦断面とその位置に対応する平均屈折率を示しており、図6(a)は、この場合の分光反射率特性の計算値である。 $\lambda$ を付した数値は波長で規格化した値を示し、nmを付した数値は波長を具体的に633nmとしたときの値を表している。入射光にはTM波を想定し、基準波長で共鳴するように設計を行った。格子周期は基準波長の0.64倍である。半値幅が波長の3'10<sup>-4</sup>倍と極めて狭い。また、それ以外の波長では反射率は非常に小さく、約0.3%の大きさである。この結果から、反射防止構造に1層だけの薄膜を形成した構造で、狭帯域の波長フィルタとして機能すること、および、非共鳴光の反射率が低減できていることが分かる。

【0025】図5(b)、図5(c)はアスペクト比が1.5と0.7の構造をもつ石英基板に屈折率2.25 (TiO<sub>2</sub>) の誘電体薄膜を基準波長の0.4倍の厚さで形成した波長フィルタの縦断面とその位置に対応する平均屈折率を示している。図6(b)、図6(c)は、各場合の分光反射率特性の計算値である。(b)においては、非共鳴光の反射防止の効果がよく現れているが、(c)ではその効果が薄れ、長波長側で反射率が大きくなっている。ただし、(b)の半値幅は(a)の場合に比べてかなり広いものになっている。

【0026】薄膜の厚さより大きな凹凸のある構造では、アスペクト比が低いほど、導波路としての屈折率変調が強くなる。そのため、アスペクト比が小さいほど半値幅が大きくなる。

【0027】低いアスペクト比で狭い半値幅を実現するには、薄膜の膜厚または屈折率を小さくする必要がある。ただし、このような構成では導波層の平均屈折率が小さくなり（基板の屈折率との差が小さくなり）、透過の1次回折波が発生する条件と共鳴条件が近くなって、共鳴波長より短い波長領域では、回折波が発生する。図5のフィルタにおける透過1次回折波の発生の様子を図7に示す。図7の(a)、(b)、(c)は図5の(a)、(b)、(c)の場合とアスペクト比が一致している。アスペクト比が2.5の場合、1次回折波は共鳴波長から離れたところで発生する。アスペクト比が0.7では、共鳴波長とほとんど同じ波長で回折光が発生する。フィルタを「特定の一つの波長だけを取り出す素子」として利用する場合は、共鳴波（反射波）を出力として扱えばよく、これは1次回折波に影響を受けないので、このような特性に注意を払う必要はない。しかし、透過光を利用する場合においては、共鳴波長より短い波長領域で、回折のためにエネルギーが失われることになり、利用効率の低いものになる。

【0028】以上の例は、格子構造に対して垂直に光が入射するという条件を設定したものであった。しかしながら、光が各図の紙面内で斜めに入射する場合においても、同様の動きをする。

【0029】

【発明の効果】本発明に係る波長フィルタは、表面に微細凹凸を有する基板と、該微細凹凸面を覆う誘電体層とを備え、前記基板の微細凹凸は、基板表面での反射防止作用が得られるように、周囲雰囲気と誘電体層と基板とを媒質としたときの微細凹凸高さ方向における各高さでの平均屈折率が周囲雰囲気側から基板側へと緩やかに変化している。これにより、入射光に対する反射防止効果が得られる。また、誘電体層、基板、周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_d$ 、 $n_s$ 、 $n_{air}$ としたときに、 $n_d > n_s$ 、 $n_{air}$ となるように各々の屈折率が決められ、微細凹凸及び誘電体層が該凹凸面に入射した光の導波層を形成している。

【0030】前記基板の微細凹凸の周期は、該周期を $\Lambda$ 、基板及び周囲雰囲気の屈折率を各々 $n_s$ 、 $n_{air}$ 、照射光の波長及び入射角を各々 $\lambda$ 、 $\theta$ とすると、 $\Lambda < \lambda / (n_s + n_{air} \sin \theta)$   
 $\Lambda < \lambda / (n_{air} + n_{air} \sin \theta)$   
 の双方を満足する範囲とされ、これにより、雰囲気側及び基板側への回折光の発生が抑止される。

【0031】さらに、微細凹凸の周期 $\Lambda$ は、導波層の平

均屈折率を $n_g$ における最も高い平均屈折率を $n_{gmax}$ とすると

$$\Lambda > \lambda / (n_{gmax} + n_{air} \sin \theta)$$

を満足する範囲とされ、これにより、入射光を導波層内に伝搬させることができる。

【0032】このようにして、波長フィルタに入射した光は、導波層内を伝搬し微細凹凸の周期構造と再度結合して、入射光に対して鏡面反射の方向に出射する。これにより、特定波長の光が反射光として得られ、他の波長の光は基板を透過する。その結果、非共鳴波長の反射を抑制して高い波長選択性が得られる。

【0033】本フィルタを製作するには、基板に微細凹凸による反射防止構造をもたせ、これに一層の誘電体薄膜を形成するだけでよい。したがって、広い波長範囲で非共鳴波の反射率を低減するために複数層の光学薄膜を設けていた従来のスラブ型格子フィルタと異なり、複数層に亘る複雑な誘電体の蒸着プロセスが不要になり、製造が簡便であり生産コストを低減させることができる。

【0034】本フィルタの用途は、通常の共振モード格子フィルタと同様に、レーザー発振用キャビティーミラー、分光用波長選択素子、波長多重光通信用波長分割素子、偏光分離素子などがある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態に係る波長フィルタの作動原理の説明図であり、フィルタの縦断面及びその位置に対応した平均屈折率を示す。

【図2】 本発明の基本となる原理の説明図であり、反射防止構造の縦断面及びその位置に対応した平均屈折率を示す。

【図3】 本発明の基本となる原理の説明図であり、共振モード格子フィルタの縦断面を示す。

【図4】 本発明に関連する構造の説明図であり、多層構造方フィルタの縦断面を示す。

【図5】 3種類のアスペクト比の構造をもつ波長フィルタの縦断面とその位置に対応する平均屈折率を示している。

【図6】 図5に示した波長フィルタの各々の分光反射率特性のグラフである。

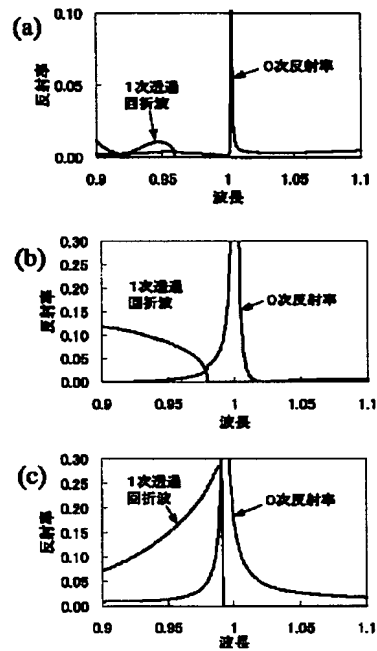
【図7】 図5に示したフィルタにおける透過1次回折波の発生の様子を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1、1 a、1 b、1 c 基板
- 2、2 b、2 c 誘電体層
- 3 c 薄膜層
- 4 c 薄膜層



【図7】



フロントページの続き

(72) 発明者 豊田 宏  
大阪府和泉市桑原町247番地の5 ファロー  
和泉102号

Fターム(参考) 2H047 LA01 TA43  
2H048 FA05 FA12 FA15 FA21 GA04  
GA09 GA13 GA24  
2H049 AA03 AA51 AA59 AA64

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**